

0722629-1

На правах рукописи

ГАБДУЛЛИН Василь Миннахметович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ  
МЕТАЛЛАМИ ТЕРРИТОРИИ Г. ИЖЕВСКА**

25.00.36 – *Геоэкология*

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
географических наук



Ижевск, 2001

Работа выполнена на кафедре природопользования и экологического картографирования Удмуртского государственного университета.

**Научный руководитель** – доктор географических наук, профессор

В.И. Стурман

**Официальные оппоненты** – доктор географических наук, профессор

А.М. Трофимов (КГУ);

кандидат биологических наук, с.н.с.

Д.В. Иванов (ИнЭПСАНТ)

**Ведущая организация** – ЦНИИ геолнеруд.

Защита диссертации состоится 21 июня 2001 г. в 15<sup>00</sup> на заседании диссертационного Совета К.212.081.02 в Казанском государственном университете по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 18, корпус 2, ауд. 1512.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского государственного университета.

**НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА  
КФУ**



Автореферат разослан 19 мая 2001 г.

Отзывы на реферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим отправлять по адресу: 420008 г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, служба аттестации научных кадров.

**Ученый секретарь диссертационного совета**  
кандидат географических наук, доцент

Хабутдинов Ю.Г.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Загрязнение окружающей среды является одной из наиболее важных проблем человечества на современном этапе развития. Объективно оценить степень экологического неблагополучия территории можно на основании результатов анализа проб компонентов окружающей среды: воздуха, воды, почвогрунтов. Почвогрунты являются наиболее устойчивым (загрязняющие вещества способны сохраняться в почвах многие годы и десятилетия, создавая непосредственную угрозу здоровью населения); очень слабо зависящим (по составу) от метеоусловий, времени года компонентом (в отличие от воздуха и воды), т.о. характеристики почвогрунтов (концентрации загрязняющих веществ, окислительно-восстановительный потенциал, количество гумуса и т.д.) – наиболее информативные показатели состояния окружающей среды. Наибольшее внимание обычно уделяется тяжелым металлам. Это обусловлено широким распространением и индикационным значением данного вида загрязнения, а также большим значением для биосферы.

Острота экологических проблем современности, с одной стороны, и новые возможности, связанные с широким внедрением компьютерных технологий анализа и учета данных и ГИС-технологий, с другой стороны, подталкивает к автоматизированному составлению эколого-геохимических карт с дальнейшим использованием полученных материалов как исходных данных при принятии оперативных управленческих решений в целях охраны окружающей среды и т.п.

**Целью проделанной работы** являлось исследование территориальной дифференциации загрязнения тяжелыми металлами.

В ходе работы решались следующие задачи:

1. Рентгенофлуоресцентный анализ (в аккредитованной лаборатории) проб почвогрунтов на валовое содержание восьми элементов: Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, Ti (общим числом порядка 2400).
2. Создание электронной геохимической базы данных, позволяющей автоматизировать процесс расчетов.
3. Анализ полученных геохимических данных с целью определения размеров зон влияния промышленных предприятий и выявления однородных ареалов загрязнения.
4. Автоматизированное создание с помощью ArcView и MapInfo поэлементных карт и карты суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  и др. специализированных тематических карт.

**Исходные материалы и методика исследования.** В работе использованы результаты полуколичественного спектрального анализа ~ 1400 проб почвогрунтов г. Ижевска (ПО "Аэрогеология", г. Москва, съемка 1991-93 гг. в масштабе 1:25000) и рентгенофлуоресцентного анализа ~ 2900 проб (Геоэкологическая лаборатория УдГУ, съемка 1996-2000 гг. в масштабе 1:10000). В процессе обработки результатов анализа применялись корреляционный, кластерный методы анализа, тематическое картографирование, ГИС-технологии.

**Научная новизна** работы заключается в том, что в ней впервые выявлены с помощью корреляционного анализа статистически достоверные размеры зон максимального влияния промышленных предприятий (на примере г. Ижевска); а также, проанализирована кластерным методом загрязненная территория с выделением на ней однородных ареалов загрязнения, приуроченных к конкретным источникам; предпринята попытка автоматизированного составления карт специального тематического назначения.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Размеры и формы геохимических аномалий, приуроченных к предприятиям, определяются масштабами предприятий; ветровым режимом; рельефом и характером застройки, при этом повышенные уровни загрязнения тяготеют к понижениям рельефа.

2. Выявленные зоны влияния предприятий могут быть как больше, так и меньше нормативных санитарно-защитных зон.

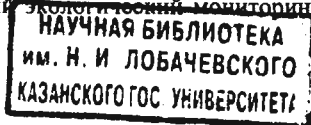
3. Высокая техногенная нагрузка на почвогрунты в условиях города обуславливает значительное изменение показателей загрязнения за период порядка нескольких лет.

4. С помощью корреляционного и кластерного методов анализа можно выявлять статистически достоверные размеры зон максимального влияния предприятий и ареалы однородного загрязнения, приуроченные к источникам загрязнения.

**Практическая значимость исследования.** Эколого-геохимическая съемка г. Ижевска масштаба 1:10000 выполнена в соответствии с муниципальной программой “Охрана окружающей среды” на 1998-2000 гг. Материалы исследований использованы в оперативной работе Ижевского городского комитета по охране окружающей среды по оценке степени опасности и ликвидации несанкционированных свалок; при разработке и при экологическом обосновании генплана г. Ижевска; результаты крупномасштабного эколого-геохимического картографирования г. Ижевска используются для зонирования и кадастровой оценки городских земель; для разработки эколого-геохимических вопросов ОВОС при проектировании ряда объектов.

Разработан и преподается студентам специальности “Природопользование” курс “Рентгеноспектральный метод анализа” как один из методов анализа состояния окружающей среды. Материалы диссертации используются как исходные данные в курсе “Экологическое картографирование”; при написании студентами курсовых и дипломных работ; включены в изданные учебно-методические пособия “Экологическое картографирование” (Стурман В.И.) и “Методические указания к выполнению лабораторных работ по экологическому картографированию” (Корепанова Т.В.).

**Апробация работы.** Научные положения и результаты исследования отражены в 12 публикациях (две из них в центральных рецензируемых журналах), докладывались на международных, российских и региональных конференциях: Всероссийская научная конференция “Университеты России – фундаментальные исследования: География” (Новороссийск, 2000 г.); Всероссийская научно-практическая конференция “Региональный экологический мониторинг” (Москва, 2000 г.); Все-



российская научная конференция “Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон” (Санкт-Петербург, 1999 г.); Международная научная конференция “Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон” (Санкт-Петербург, 2000 г.); Региональная научно-практическая конференция “Удмуртия накануне третьего тысячелетия” (Ижевск, 1998 г.).

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем составляет 214 страницы, в т.ч. 21 таблица и 34 рисунка, из них 18 карт. Основной текст диссертации изложен на 143 страницах. Список литературы состоит из 131 наименования, из них 10 на иностранных языках.

Автор глубоко признателен и искренне благодарен научному руководителю – профессору, зав. кафедрой природопользования и геоэкологического картографирования В.И. Стурману, а также другим сотрудникам УдГУ.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ГЛАВА 1. ИСТОРИЯ И МЕТОДИКА ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Интенсивное геохимическое преобразование природы человеческой деятельностью привело к появлению центральной проблемы современной экологической ситуации – проблемы загрязнения окружающей среды. Накопление химических элементов и их поступление в объекты окружающей среды являются результатом производственной деятельности человека. Дальнейшее распределение химических элементов осуществляется природными факторами миграции, образующими техногенные ореолы рассеяния. Характеристики ореолов рассеяния – состав, степень концентрации и др. – определяют качество окружающей среды.

Главная геохимическая особенность промышленного, транспортного и коммунально-бытового воздействия на среду города – это формирование техногенных геохимических аномалий в различных компонентах городского ландшафта. Контрастность и пространственное положение этих аномалий зависит от сочетания функциональной структуры города, определяющей характер и уровень техногенного воздействия на среду, и ландшафтно-геохимических условий, дифференцирующих это воздействие.

Основными задачами эколого-геохимической оценки компонентов природной среды являются: выявление патогенных неоднородностей, оказывающих негативное воздействие на биоту; разработка объективных критериев выделения зон, ха-

рактизирующихся различными уровнями состояния геозкосистем. Объектом эколого-геохимических исследований является вещественный состав компонентов ландшафта (почв, донных осадков, подземных и поверхностных вод и приземного слоя атмосферы) природного или природно-техногенного происхождения.

Техногенные аномалии вокруг городов определяются их промышленной ориентацией. Так, в компонентах ландшафта вокруг городских агломераций, включающих в себя предприятия пищевой промышленности, фиксируются углеводороды, сероводород; машино-, приборостроительные и химические предприятия – мышьяк, свинец, цинк, медь, хром, ртуть, кадмий; предприятия цветной и черной металлургии – свинец, цинк, медь, никель, кобальт, железо, марганец, хром, ванадий, титан ( $Z_c$  больше 120, до 500 - 2000). Практически повсеместно вокруг градостроительных комплексов идет формирование биогеохимических провинций со специфическими реакциями живых организмов.

Исторически сложилось, что развитие экогеохимии городов в значительной степени основывалось на теории и методах поисковой геохимии. В нашей стране первые широкие научно-методические и прикладные геохимические исследования городов были начаты под руководством Ю.Е. Саета (ИМГРЭ) в 1976 г. Затем эта методика использовалась во многих городах СССР и в дальнейшем в России для целей оценки и картографирования их экологического состояния.

Рассмотренный обзор проводившихся ранее эколого-геохимических съемок показал, что исследования выполнены в нескольких десятках городах. При этом, как правило, изучались загрязнения почв, снега, реке растительных тканей, атмосферного воздуха и водных объектов на общераспространенные технофильные элементы: Pb, Zn, Cu, Ni, Mn, Cr и др. Часть работ проводилась с помощью полуквантитативного спектрального метода анализа с определением большого количества элементов, но невысокой точностью (80-е годы); в 90-х использовались более точные методы анализа, при этом происходило уменьшение числа определяемых элементов.

За рубежом (вне бывшего СССР) исследования загрязнения почв тяжелыми металлами, как правило, выполняются локально. Картографированию территорий целых городов препятствует высокая плотность застройки, с незначительным распространением свободных земель.

Особенностью эколого-геохимических исследований Ижевска является преимущественное исследование почвенного покрова, выполненное с большей детальностью: в 1991-93-х гг. (масштаб 1:25000) и в 1996-2000-х гг. (масштаб 1:10000); снежный покров изучался в целях геохимического изучения пылевых выпадений из воздуха и уточнения текущих тенденций в распределении загрязнения, на основе принятой методики. Для более полного учета загрязнения за зимний период отбор снеговых проб проводился в конце сезона, в феврале-марте 1992 г. Было отобрано 50 проб, размещенных по системе профилей, вдоль направления господствующих ветров и в крест к нему. Пункты отбора проб размещались в стороне от дорог и троп, на нетронутой снежной "целине". Пробы отбирались из шурфов, вскрывающих всю мощность снега, весом 5 - 7 кг. При отборе проб фиксировались дата и площадь шурфа. Оттаивание проб проводилось при комнатной тем-

пературе. Анализ проб выполнен Аналитическим отделом Госкомприроды Удмуртии фотометрическим методом. Анализы были проведены по упрощенной методике, что не позволило определить общую пылевую нагрузку. Из-за отсутствия данных о фоновых концентрациях загрязнителей в снежном покрове были рассчитаны лишь абсолютные величины среднесуточных выпадений, в  $\text{мг/м}^2$  в сутки.

При эколого-геохимических съемках изучают территориальное распределение концентраций ряда (от 5 - 6 до 30 - 40) химических элементов. Составными частями эколого-геохимических съемок являются: отбор проб, аналитическая обработка, интерпретация результатов и составление карт.

**Анализ эколого-геохимических карт.** На картах загрязнения почв, снежного покрова, донных отложений, составленных при съемках, выделяются техногенные геохимические аномалии различного происхождения, степени выраженности и опасности, территориального охвата. Важнейшая задача анализа эколого-геохимических карт – выявление причин образования аномалий, что является предпосылкой целенаправленной, адресной разработки планов природоохранных мероприятий. Эта работа должна опираться на сбор и анализ имеющихся в природоохранных органах материалов о технологии производства на предприятиях, составе используемого сырья и отходов. При анализе эколого-геохимических карт может применяться весь арсенал средств картографического метода исследования: визуальный, графический, картометрический, математико-статистический методы анализа, математическое моделирование и использование приемов теории информации. Хорошие результаты дает сопоставление эколого-геохимических карт с геологическими, гидрогеологическими и тектоническими, геоморфологическими, микроклиматическими, геоботаническими, ландшафтными, а также картами землепользования. При совместном использовании карт разной тематики определяют и сравнивают эколого-геохимические параметры (средние значения  $K_c$  и  $Z_c$ , показатели изменчивости) для представленных на картах выделов различного характера. Их сопоставление между собой и с характеристиками, снимаемыми с соответствующих карт, позволяет качественно и количественно оценивать роль различных факторов в формировании техногенных геохимических аномалий.

Наибольшим разнообразием происхождения отличаются педогеохимические аномалии. Среди них различают: аэрогенные (обусловленные осаждением пылегазовых выбросов), гидрогенные (сформированные загрязненными водами), агрогенные (образовавшиеся вследствие агротехнических воздействий) и вулканогенные (связанные с твердыми отходами). Для аэрогенных аномалий характерны следующие признаки: поверхностный характер, относительно значительные размеры, постепенность изменения элементного состава и концентраций. При этом максимумы концентраций могут отстоять от источника на расстояние до нескольких километров (от 10 до 40 высот в случае высоких источников горячих выбросов). В составе аэрогенных аномалий обычно преобладают элементы, отражающие специфику производства на предприятии – источнике загрязнения (легирующие добавки вблизи предприятий черной металлургии, профилирующие элементы вблизи предприятий по производству и переработке цветных металлов, ванадий и никель в зонах воздействия тепловых электростанций). На урбанизированных территориях, вне

зависимости от производственной специализации, обычно наблюдаются повышенные концентрации элементов, характерных для автотранспортного загрязнения и общераспространенных технофильных (свинец, цинк, медь, марганец). Гидрогенные аномалии выделяются приуроченностью к поймам рек, днищам оврагов и балок. Для них обычно свойственно значительное участие элементов, характерных для стоков гальванических производств и очистных сооружений (серебро, никель, хром). Агрогенные аномалии приурочиваются к сельскохозяйственным землям. Для них характерно присутствие фосфора и элементов-примесей, содержащихся в апатитах и фосфоритах (фтор, стронций, иногда также мышьяк, свинец, цинк, редкоземельные). Вейсгенные аномалии отличаются резкими перепадами состава и концентраций. При их детальном изучении нередко удается выявить частицы – носители загрязнения.

Сопоставление карт загрязнения почв и снежного покрова позволяет выявлять характер динамики аномалий. Различают аномалии: реликтовые (выявляются по почвам, но не обнаруживаются по снегу), растущие (выявляются как по почвам, так и по снегу), формирующиеся (выражены в снегу, но отсутствуют в почвах).

Эколого-геохимические параметры многообразны, сложны и часто не поддаются однозначному объяснению. Анализ эколого-геохимических карт должен не усложнять, а упрощать понимание причин формирования территориальных различий в уровнях загрязненности, указывать на пути решения существующих проблем. Показателем эффективности эколого-геохимического исследования являются четкие и конкретные выводы о наличии (или отсутствии) и характере связи между загрязнением и определенными природными и техногенными факторами, с соответствующими практическими предложениями.

Эколого-геохимические исследования должны выполняться на основе комплексного использования санитарно-гигиенических, медико-биологических, биогеохимических и геохимических подходов и критериев. Одна из главнейших задач эколого-геохимических исследований на городских территориях – обеспечение экологической безопасности проживания населения.

Эколого-геохимические исследования выполняются для совершенствования градостроительных документов: генпланов, проектов детальной планировки; оценки экологических ситуаций, ранжирования их по степени опасности и выявления зон чрезвычайных экологических ситуаций и зон экологического бедствия согласно Критериям оценки экологической обстановки; для разработки медико-экологических мероприятий в очагах геохимического загрязнения; для разработки мероприятий по охране и оздоровлению почв и контролю их эффективности. Инженерно-экологические изыскания (в т.ч. эколого-геохимические исследования) выполняются для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей природной среды под влиянием антропогенной нагрузки с целью предотвращения, минимизации или ликвидации вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий и сохранения оптимальных условий жизни населения.



## ГЛАВА 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВОГРУНТОВ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Рентгенофлуоресцентный анализ является одним из методов количественного анализа объектов окружающей среды и применяется как для определения характеристик природного фона, так и при изучении проблем загрязнения. Данный метод, наряду с классическими химическими методами рекомендуется к использованию при проведении геоэкологических исследований в целях охраны окружающей среды.

Определение тяжелых металлов в образцах почв можно проводить качественно или количественно. Качественный анализ позволяет лишь сказать, присутствует данный элемент в образце или нет. В большинстве же случаев для геоэкологических исследований нужно знать содержание (концентрацию) того или иного элемента в пробе воды, воздуха, грунта, ила и т.д. Здесь уже необходим количественный анализ и как можно более точный (минимальная ошибка определения, минимальный предел обнаружения и т.д.) и наиболее производительный. Этим требованиям отвечает рентгеноспектральный флуоресцентный метод анализа. Его точность вполне достаточна для геоэкологических исследований, а производительность очень высокая.

Рассчитанные коэффициенты чувствительности  $G$ , пределы обнаружения  $C^0$ , величины среднеквадратического отклонения  $S$  (точность анализа) среднеквадратические отклонения по линейному графику  $S_{\text{лин}}$  для всех элементов представлены в (табл. 2.1). Полученные результаты рентгеноспектрального анализа соответствуют метрологическим требованиям Госстандарта РФ. Аттестат аккредитации № РОСС RU 0001.511338 от 23 июня 1999 г.

Таблица 2.1.

**Результаты математической обработки изменений градуировочных образцов**

Элемент	$S_{\text{лин}}$	$G$	$C^0$	$S$
Pb	0.0016	804.9	0.00069	0.0024
Zn	0.0014	2377.1	0.00035	0.0012
Cu	0.0037	1794.4	0.00141	0.0034
Ni	0.0022	1402.2	0.00054	0.0015
Co	0.0008	919.6	0.00028	0.0008
Mn	0.0025	189.2	0.00159	0.0041
Cr	0.0066	172.5	0.00116	0.0019
Ti	0.0028	6.7	0.00671	0.0088

Как следует из таблицы для  $Cr$  характерно наличие слабой нелинейной зависимости интенсивности флуоресценции от концентрации, а также значительная

величина коэффициента чувствительности  $G$  и небольшая величина предела обнаружения  $C^0$  (при малом значении среднеквадратического отклонения) говорит о том, что содержание  $Cr$  в пробах будет обнаружено при низких концентрациях и с малыми ошибками. Большая величина коэффициента чувствительности  $G$  и малая величина предела обнаружения  $C^0$  для элементов: Pb, Zn, Ni и Co (при малом значении среднеквадратического отклонения) означает, что эти элементы будут обнаружены в пробах даже при очень малых концентрациях и с малыми ошибками. Обратная ситуация складывается для титана и в меньшей степени – марганца, но в почвах и Ti и Mn являются макроэлементами, поэтому их концентрации всегда намного выше предела обнаружения и ошибки определения незначительны на фоне этих концентраций. При анализе содержания Si возникает особая ситуация из-за некоторых технических трудностей (высокий фон, см. выше), в связи с чем завышен предел обнаружения и значительны относительные ошибки определения при низких концентрациях.

### ГЛАВА 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ ТЕРРИТОРИИ г. ИЖЕВСКА

Согласно современным представлениям, Ижевск располагается в зоне подтайги, во внеледниковой части Русской равнины. Ижевск расположен на стыке нескольких физико-географических районов и ландшафтов. Литогенную основу ландшафтов образуют красноцветные терригенные отложения нижеустьинской и сухонской свит татарского яруса пермской системы. Их перекрывает практически непрерывный покров четвертичных отложений элювиально-делювиального, делювиально-солифлюкционного, эолового, аллювиального и пролювиально-аллювиального происхождения.

Геолого-геоморфологическое строение городской территории в целом изучено слабо. Территория города покрыта геологическими и инженерно-геологическими съемками масштаба 1:50000 и 1:200000, что в силу низкой детальности не может использоваться в качестве основы для планировочных решений; кроме того эти съемки выполнялись на научно-методической основе, далекой от современных стратиграфических и палеогеографических представлений и требований к детальности изучения. В свете современных представлений геолого-геоморфологическое строение городской территории было рассмотрено в ходе геоэкологических исследований масштаба 1:25000 (Стурман В.И.); результаты этой работы (стратиграфические и геоморфологические разработки) использовались автором в настоящей работе.

Почвенный покров города характеризуется значительной неоднородностью. В пределах города представлены как естественные почвы (дерново-подзолистые под городскими лесами, частично рекреационными территориями; аллювиальные в поймах рек), так и искусственные (индустриоземы, урбаноземы, ацефалоземы). Повышенные концентрации большинства химических элементов в поверхностном слое свойственны как различным типам естественных почв, так и техногенных (что

является предметом настоящего исследования). Кроме того, известно, что условия почвообразования в городе отличны от природных, в частности, широко известно явление подщелачивания городских почв. Поскольку источником исследуемых тяжелых металлов в незагрязненных почвах являются подстилающие отложения, фоновые концентрации для сопоставления (в рамках настоящего исследования) определялись исходя из стратиграфической и генетической принадлежности материнских пород.

Загрязнение почв городов тяжелыми металлами обычно изучается в двух аспектах: как самостоятельная экологическая проблема, либо как индикатор загрязнения воздушного бассейна и/или величины техногенной нагрузки в целом. Эти подходы к изучению загрязнения почв целесообразно разграничивать, поскольку речь идет о двух относительно самостоятельных составляющих одного явления. Загрязнение почв, непосредственно угрожающее здоровью населения и состоянию экосистем, возникает при несанкционированном размещении опасных отходов, авариях (вейстогенное загрязнение) и т.п., тогда как характеризовать общую экологическую ситуацию может аэрогенное загрязнение, формирующееся за счет осаждения пылегазовых выбросов. Вейстогенное загрязнение может быть объяснено лишь исходя из особенностей текущего и прошлого землепользования, тогда как аэрогенное загрязнение отражает нынешнее расположение его источников и особенности атмосферного переноса. Вейстогенные аномалии отличаются по резким перепадам концентраций элементов, приуроченности к видимым источникам загрязнения и другим признакам, и из анализа аэрогенного загрязнения исключаются.

Фоновые характеристики содержания химических элементов в почвах Удмуртии изучались в ходе исследований различной направленности: при геологических, агрохимических и геоэкологических работах. Сообразно целевым установкам, опробовались целые генетические горизонты почв независимо от их мощности, или наиболее подверженный загрязнению верхний 5-сантиметровый слой, что при общеизвестной неравномерности распределения элементов по почвенному профилю не могло не привести к определенным различиям в результатах. Так, концентрации меди для горизонта А в целом составили от 10 до 32,8 мг/кг, а для 5-сантиметрового слоя от 5 до 10 мг/кг; концентрации молибдена – от 0,83 до 2,05 мг/кг и от 0,4 до 0,59 мг/кг соответственно. Пониженные концентрации в приповерхностном слое характерны для элементов, подверженных кислоте выщелачиванию. Интервалы колебаний концентраций марганца, цинка и кобальта по данным двух упомянутых исследований в той или иной степени совпали. Автор при количественном исследовании пространственных особенностей геохимического загрязнения территории г. Ижевска пользовался данными табл. 3.1.

Связь между остротой экологических проблем и характером использования земель общеизвестна. Использование эколого-геохимических показателей позволяет охарактеризовать эту связь количественно. Средние значения концентраций элементов и суммарного показателя  $Z_c$  по типам землепользования приводятся в табл. 3.2.

Таблица 3.1.

**Средние содержания элементов по стратиграфо-генетическим и литологическим типам отложений, представленных на территории  
Ижевска (верхний 5-см слой), в мг/кг**

Элементы	Стратиграфо-генетические и литологические типы							
	Совр. болотные (торф)	Совр. балочный аллювий	Совр. аллювий суглинистого состава	Совр. аллювий супесчаного состава	Верхне-четвертичный аллювий	Средне-верхне-четвертичные эоловые пески	Средне-верхне-четв. делювиально-солифл. сугл.	Средне-верхне-четв. элювиально-делюв. сугл. и глины
Cu	5,0	5,9	7,5	5,0	7,8	5,0	9,0	10,2
Zn	23	30	37	22	33	35,5	35	37
Pb	4,3	21	18	19	20	19	20,5	20
Ni	9,7	30	42,5	26	25	22	31	42
Cr	34	119	108	122	116	109	116	117
Co	7,8	17	19	16	16	12	17	19
Mn	4000	873	880	870	896	1290	840	888
Ti	1580	2920	2750	3040	3460	3180	2840	2390

Таблица 3.2.

**Средние концентрации элементов и суммарные показатели загрязнения по типам землепользования**

Типы землепользования	К-во точек	Средние концентрации элементов, %								Сум-я по-к-ль $Z_c$
		Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Ti	
застройка многоэтажная	566	0,0066	0,0143	0,0044	0,0050	0,0013	0,1379	0,0218	0,2867	16,1
застройка малоэтажная	58	0,0038	0,0158	0,0038	0,0049	0,0014	0,1022	0,0261	0,2654	15,8
застройка усадьбная	444	0,0075	0,0208	0,0045	0,0063	0,0016	0,1004	0,0236	0,2902	21,9
коммуникации	326	0,0041	0,0120	0,0036	0,0067	0,0015	0,1261	0,0194	0,3345	14,1
промышленные зоны	264	0,0236	0,0212	0,0061	0,0315	0,0029	0,1372	0,0674	0,3309	38,8
коммунально-складские зоны	49	0,0030	0,0110	0,0045	0,0062	0,0018	0,1469	0,0647	0,2358	17,3
зеленые насаждения искусственные	201	0,0045	0,0110	0,0047	0,0067	0,0015	0,0965	0,0172	0,3252	15,1
рекреационные зоны	43	0,0018	0,0083	0,0045	0,0045	0,0009	0,0918	0,0147	0,2857	12,8
городские леса	396	0,0108	0,0081	0,0053	0,0045	0,0012	0,1082	0,0133	0,2933	10,0
малоиспользуемые заболоченные земли (поймы рр. Иж и Повимь)	535	0,0030	0,0114	0,0050	0,0080	0,0018	0,1359	0,0222	0,3509	14,1
социально-культурные и оздоровительные учреждения	196	0,0087	0,0132	0,0043	0,0047	0,0013	0,1020	0,0192	0,3019	10,5
пустыри	144	0,0033	0,0404	0,0051	0,0051	0,0123	0,1460	0,0196	0,3453	11,4
садово-огородные участки	46	0,0024	0,0085	0,0051	0,0049	0,0010	0,2289	0,0242	0,2804	9,0
строит. площадки	39	0,0035	0,0139	0,0038	0,0063	0,0015	0,0869	0,0163	0,3303	13,7
шлако- и шламоотвал	11	0,0071	0,0208	0,0081	0,0582	0,0410	0,4445	0,9132	0,2796	135,5
кладбища	16	0,0027	0,0094	0,0048	0,0046	0,0015	0,1332	0,0126	0,2836	8,1
гаражи	20	0,0117	0,0096	0,0031	0,0062	0,0014	0,1550	0,0321	0,3330	17,9
пашня	130	0,0020	0,0089	0,0052	0,0050	0,0019	0,0864	0,0159	0,3719	8,7

Из табл. 3.2 хорошо видны различия в уровнях загрязненности земель, относящихся к разным категориям использования. В то же время приведенные величины отражают не только особенности современного использования земель, но и перенос с соседних территорий, а также прошлое землепользование. В значительной степени эти факторы сказались на усадебной застройке и искусственных зеленых насаждениях, поскольку то и другое на значительной части городской территории соседствует с промышленными зонами и коммуникациями. Для районов усадебной застройки дополнительным фактором загрязнения является многолетнее использование металлургического шлака для подсыпки проезжих частей незаасфальтированных улиц, пешеходных дорожек.

Повышенную техногенную нагрузку несут удобные для освоения поймы (исключая заболоченные притеррасовые понижения), низкие надпойменные террасы, пологие эрозионно-денудационные и делювиально-солифлюкционные склоны. Около 80% городских территорий с опасным и чрезвычайным опасным уровнями загрязнения ( $Z_c$  более 32) приурочено к поймам и низким надпойменным террасам; более 80% территорий с допустимым уровнем загрязнения ( $Z_c$  до 16) приурочено к водоразделам. Такое распределение уровней загрязнения отражает как исторически сложившееся (но весьма неудачное в экологическом отношении) преимущественное размещение крупных промышленных предприятий на поймах и низких надпойменных террасах, так и худшие условия проветривания в пределах речных долин, а также перераспределение элементов в современных отложениях в результате их химической и механической миграции. Распределение значений концентраций отдельных элементов в ландшафтных единицах в целом подчинено закономерности, выявленной при анализе суммарного показателя  $Z_c$ , но его дополнительное исследование позволяет сформулировать еще ряд выводов. Содержание Pb, Zn, Cr постепенно увеличивается по мере продвижения от водораздельных поверхностей к пойменным участкам речных долин, причем на золотых песчаных покровах их концентрации (особенно Pb, Co) значительно меньше, чем на водораздельных поверхностях с чехлом элювиально-делювиальных отложений. Последнее обстоятельство связано с более легким выносом катионогенных элементов из песчаных и супесчаных субстратов, а также с тем, что эти ландшафтные комплексы в основном приурочены к залесенным территориям и парковым зонам. Максимальных значений средние концентрации свинца достигают на активно подмываемых эрозионно-денудационных склонах оврагов и балок, это связано, скорее всего, с тем, что к таким ландшафтным элементам часто приурочены несанкционированные свалки бытового мусора, а также к особенностям его водной миграции (хорошо мигрирует в кислых водах окислительной и глеевой обстановок).

Изменение геолого-геоморфологической среды в пределах городской территории в сторону подщелачивания почв, роста содержания органических соединений, несмотря на промывной режим, окислительную обстановку, способствует накоплению в поверхностных горизонтах почв группы преимущественно катионогенных элементов (Mn, Cu, Zn, Pb, Ni, Co и др.) и подвижности многих анионогенных (Cr и др.). Эта связь прослеживается и в полученном ряде данных: превышение

концентраций катионогенных элементов по сравнению с фоновыми во много раз существеннее, тогда как содержание анионогенных почти в пределах нормы.

Для оценки влияния особенностей приземного переноса тяжелых металлов было проведено сопоставление плановых очертаний аномалий с формами рельефа и характером застройки. В пределах городской территории выделяется около 20 относительно крупных аномалий, приуроченных к крупным промышленным предприятиям, коммунально-складским зонам, железнодорожным станциям, и около 200 мелких, приуроченных к небольшим промышленным объектам, магистральным улицам, скоплениям отходов, или имеющих неясное происхождение. Аномалии, напоминающие по форме “розу ветров”, или изометричные, сформировались лишь в единичных случаях, где отсутствуют резко выделяющиеся формы рельефа и высокие, протяженные строения. В остальных случаях формы аномалий искажены вследствие их распространения на близлежащие понижения рельефа и “обтекания” положительных форм рельефа и выделяющихся по высоте строений.

Детализация аномалий при эколого-геохимическом изучении районов города показала, что выявленным ранее относительно крупным аномалиям, закартированным как территориально выдержанные, фактически чаще всего соответствуют скопления мелких локальных аномалий, наложенные на некоторый общий фон, обусловленный осаждением пылегазовых выбросов предприятий.

Для оценки скорости формирования этого фона были использованы распространенные в городе искусственные грунты – привозной торф на газонах. Время экспозиции таких грунтов было определено по материалам организаций, занимающихся благоустройством. По результатам рентгеноспектрального анализа 39 проб, коэффициенты корреляции между продолжительностью экспозиции и показателями загрязнения составили: для свинца 0,603; для цинка 0,496; для никеля 0,372; для кобальта 0,347; для марганца –0,058 (отсутствие связи, как и в случае титана, закономерно и обусловлено незначительностью аэрогенного привноса по сравнению с относительно высоким фоновым содержанием); для хрома 0,473; для титана 0,095; для суммарного показателя загрязнения  $Z_c$  0,600. Таким образом, аэрогенное загрязнение тем или иным металлом формируется тем быстрее, чем ниже его фоновое содержание и выше техногенная эмиссия.

Опасные и чрезвычайно опасные концентрации металлов образуют очень незначительные по площади (квадратные метры), резко выраженные очаги загрязнения. Они обуславливаются несанкционированным размещением высокотоксичных, малообъемных отходов от металлообрабатывающих производств. В связи с имевшим место массовым бесконтрольным использованием металлургических отходов для подсыпки низинных участков, особенно на пойме и низких надпойменных террасах р. Иж, дорожного строительства и благоустройства, широко распространены локальные вейстогенные аномалии умеренно опасного, опасного и даже чрезвычайно опасного уровней, преимущественно хром-вольфрам-молибденового состава, приуроченные к проезжим частям грунтовых и гравийно-щебеночных дорог.

История города (строительство и реконструкция жилых и промышленных зон, смены технологии на ведущих предприятиях, перераспределение транспортных потоков) является фактором формирования и постоянного переформирования его

специфической геохимической среды. В отличие от лесных и, возможно, сельскохозяйственных, городские земли едва ли правомерно рассматривать как относительно инертный аккумулятор долговременного загрязнения.

#### ГЛАВА 4. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В этой главе предпринимается попытка решения следующих задач: 1) определение размеров зоны влияния промышленного предприятия, как источника аэрогенного загрязнения почв (на примере предприятий центральной промышленной зоны г. Ижевска); 2) деление поля концентраций на самоорганизующиеся территориальные единицы (кластеры), обладающие внутренней однородностью по геохимическим характеристикам, с целью последующего сопоставления с сеткой территориального деления на основе тех или иных признаков (геологических, геоморфологических, территориально-планировочных и др.). Кластеры выделяются на основе однородности таких принятых геохимических показателей, как поэлементные коэффициенты концентрации  $K_c$  и суммарные показатели загрязнения  $Z_c$ . Для решения первой задачи автором используется один из методов математической статистики – метод корреляционного анализа, а для второй – метод кластерного анализа.

**Определение размеров зоны влияния промышленного предприятия.** Используемый в настоящее время способ определения размеров санитарно-защитных зон (СЗЗ) предприятий основывается на определении класса опасности выпускаемой продукции, т.е. без учета фактических зон воздействия. Между тем, современные средства мониторинга, картографирования и математической обработки аналитических данных позволяют подойти к определению зон воздействия промышленных предприятий на более строгой основе. В качестве критерия воздействия предприятия (источника загрязнения) может быть принято наличие статистически достоверной связи между расстоянием от источника и содержанием загрязняющих веществ в тех или иных компонентах природной среды, например, в почвах. Достаточно полные для решения такой задачи массивы данных содержатся в материалах крупномасштабных эколого-геохимических съемок (загрязнение почв металлами, в т. ч. за счет воздушного осаждения).

В табл. 4.1 представлены расчеты коэффициента корреляции для  $Z_c$  по всем секторам и различным интервалам расстояний для предприятий центральной промышленной зоны г. Ижевска.

Как видно из табл. 4.1, по секторам наблюдается:

– значительная, устойчивая и статистически достоверная (превышение критерия достоверности  $t_r$  над критической точкой распределения Стьюдента  $t_{0.05, n-2}$ ) связь между расстоянием от источника и содержанием загрязняющих веществ в пределах восточного сектора (для расстояний более 1000 м);

– слабые, но устойчивые и статистически достоверные связи для северо-восточного сектора (при расстояниях более 1000 м) и для юго-восточного сектора (для интервала расстояний от 1000 до 3000 м);

– сильные и статистически достоверные связи для северного и южного секторов, но только для расстояний менее 1000 м.

Аналогичные расчеты коэффициента корреляции были проведены для восьми элементов: Pb, Zn, Cu, Ni, Co, Mn, Cr, Ti.

Аналогичные исследования (для восьми элементов и  $Z_c$ ) были проведены и для других точечных источников загрязнения.

Таблица 4.1.

**Значения коэффициента корреляции  $r$  в зависимости от выбранного сектора и интервала расстояний для  $Z_c$**

Сектор	Интервалы расстояний, м				
	< 1000	< 2000	< 3000	< 4000	< 5000
С	$r = -0.865$ ; $t_r = 3.846$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.571$ ; $n = 7$	$r = 0.071$ ; $t_r = 0.190$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.365$ ; $n = 9$	$r = -0.149$ ; $t_r = 1.206$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.998$ ; $n = 66$	$r = -0.042$ ; $t_r = 0.494$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.977$ ; $n = 139$	$r = 0.007$ ; $t_r = 0.099$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.971$ ; $n = 217$
С-В	$r = -0.787$ ; $t_r = 2.206$ ; $t_{0.05,n-2} = 3.182$ ; $n = 5$	$r = -0.439$ ; $t_r = 2.889$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.030$ ; $n = 37$	$r = -0.372$ ; $t_r = 3.911$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.985$ ; $n = 97$	$r = -0.304$ ; $t_r = 4.097$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.974$ ; $n = 167$	$r = -0.295$ ; $t_r = 4.896$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.969$ ; $n = 253$
В	$r = -0.153$ ; $t_r = 0.437$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.306$ ; $n = 10$	$r = -0.607$ ; $t_r = 4.950$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.018$ ; $n = 44$	$r = -0.531$ ; $t_r = 6.715$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.981$ ; $n = 117$	$r = -0.494$ ; $t_r = 7.961$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.972$ ; $n = 198$	$r = -0.487$ ; $t_r = 9.434$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.968$ ; $n = 289$
Ю-В	$r = -0.691$ ; $t_r = 1.911$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.776$ ; $n = 6$	$r = -0.630$ ; $t_r = 4.291$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.048$ ; $n = 30$	$r = -0.356$ ; $t_r = 3.386$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.990$ ; $n = 81$	$r = -0.093$ ; $t_r = 1.099$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.977$ ; $n = 139$	$r = -0.140$ ; $t_r = 1.998$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.972$ ; $n = 202$
Ю	$r = -0.870$ ; $t_r = 5.844$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.201$ ; $n = 13$	$r = 0.082$ ; $t_r = 0.563$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.012$ ; $n = 49$	$r = -0.136$ ; $t_r = 1.371$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.984$ ; $n = 102$	$r = -0.164$ ; $t_r = 2.059$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.975$ ; $n = 156$	$r = -0.104$ ; $t_r = 1.541$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.971$ ; $n = 219$
Ю-З	$r = -0.570$ ; $t_r = 2.084$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.262$ ; $n = 11$	$r = -0.158$ ; $t_r = 1.024$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.020$ ; $n = 43$	$r = -0.349$ ; $t_r = 3.729$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.984$ ; $n = 102$	$r = -0.005$ ; $t_r = 0.057$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.975$ ; $n = 156$	$r = -0.058$ ; $t_r = 0.841$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.971$ ; $n = 209$
З	— $n < 3$	$r = -0.283$ ; $t_r = 1.382$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.074$ ; $n = 24$	$r = 0.266$ ; $t_r = 2.137$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.000$ ; $n = 62$	$r = 0.057$ ; $t_r = 0.594$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.982$ ; $n = 110$	$r = -0.071$ ; $t_r = 0.925$ ; $t_{0.05,n-2} = 1.974$ ; $n = 171$
С-З	$r = -0.679$ ; $t_r = 2.267$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.447$ ; $n = 8$	$r = -0.679$ ; $t_r = 2.267$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.447$ ; $n = 8$	$r = -0.337$ ; $t_r = 1.432$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.120$ ; $n = 18$	$r = 0.223$ ; $t_r = 1.334$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.032$ ; $n = 36$	$r = 0.070$ ; $t_r = 0.513$ ; $t_{0.05,n-2} = 2.005$ ; $n = 56$

Изучим более подробно характер связи для восточного сектора центральной промышленной зоны. Для этого построим график зависимости коэффициента корреляции от расстояния (рис. 4.1). Для лучшего понимания зависимости коэффициента



ента корреляции от расстояния (так как нас интересуют отрицательные значения коэффициента корреляции) вертикальная ось инвертирована. Как видно на рис. 4.1 абсолютная величина коэффициента корреляции достигает максимума в пределах интервала расстояний от 1500 до 2200 м (абсолютная величина колеблется от 0.604 до 0.615 соответственно) с последующим монотонным убыванием. В пределах интервала расстояний от 600 до 1600 м наблюдается резкий рост показателя обратной связи; для этого интервала расстояний был вычислен коэффициент корреляции, который достиг наибольшего значения и равнялся  $-0.776$  (статистически достоверный).

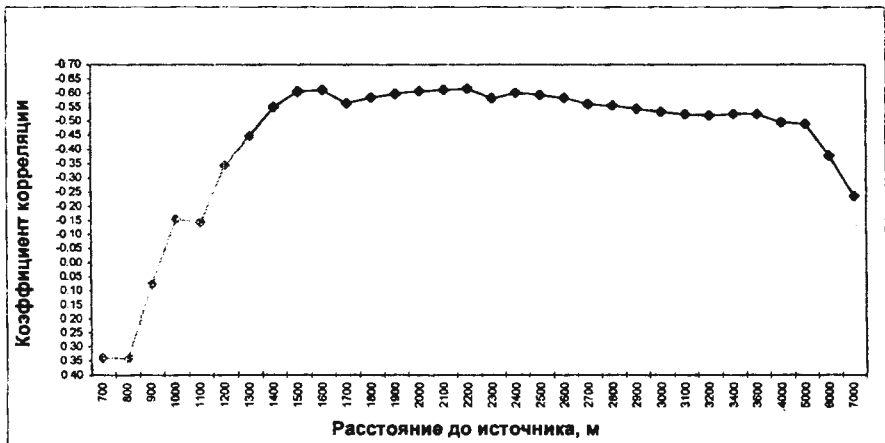


Рис. 4.1. К определению зоны воздействия предприятий центральной промышленной зоны (для темной части кривой имеет место превышение критерия достоверности над критической точкой распределения Стьюдента).

В рассмотренном случае центральной промышленной зоны область наибольшего воздействия при радиусе до 2,2 км охватывает значительную часть территории городской застройки. Полный размер зоны влияния выявляется по равенству значения критерия (Стьюдента) достоверности оценки коэффициента корреляции критической точке  $t$ -распределения для выборки, включающей пробы, отобранные с территории трансекта с началом в центре промзоны, определенной ширины и длины. В случае центральной промышленной зоны эта длина (соответственно и размер зоны влияния) достигает 12 - 15 км, что покрывает практически не только застроенную часть, но и всю территорию города в пределах административных границ.

Территории воздействия остальных предприятий накладываются на территорию воздействия центральной промышленной зоны. Следствием этого в большинстве случаев является асимметрия зон влияния. В тех случаях, когда увеличение расстояния от источника загрязнения одновременно означает увеличение расстоя-

ния от центральной промышленной зоны, связи выражаются четче и по большему числу элементов, чем в противоположной ситуации удаления от источника загрязнения и приближения к центральной промышленной зоне. В меньшей степени подобное явление может быть отмечено на периферии города: для северо-восточной промышленной зоны.

Расчеты, выполненные на основе изложенной методики, показали, что выявляемые таким образом зоны влияния предприятий могут значительно отклоняться от нормативных СЗЗ как в большую, так и в меньшую сторону. Исследование было проведено на основе данных более 4200 рентгеноспектральных флуоресцентных и полуколичественных спектральных анализов. При статистической обработке была сформирована база данных, включающая: результаты анализа – концентрации элементов в пробах; координаты точек отбора и вероятных источников загрязнения; сведения о ландшафтных, геолого-геоморфологических условиях и характере землепользования в местах отбора проб; фоновые значения концентраций элементов для соответствующих типов почв и грунтов, определенные по материалам опробования незагрязненных ландшафтов-аналогов.

Исследование показало, что статистически достоверные зоны влияния выявляются только вокруг крупных предприятий и промышленных зон. При сгущении сети опробования и соответствующем увеличении объемов выборки возможно выявление зон влияния и вокруг более мелких источников.

Следует также отметить, что данная методика позволяет использовать любые варианты формирования секторов (различные размеры сектора – в градусах, скользящие с теми или иными интервалами границы сектора, объединение соседних секторов и т.п.) без ограничения общего числа вариантов.

**Определение однородного ареала загрязнения, приуроченного к промышленному предприятию.** Предварительно определим функцию расстояния между объектами. Пусть  $d_{us}$  – “расстояние” между  $u$ -ым и  $s$ -ым образцами (точками, в дальнейшем понятия “точка” и “образец” будут иметь один смысл) в “пространстве” концентраций, определяемое следующим соотношением:

$$d_{us}^2 = \left( \frac{K_{cu}(Pb)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Pb)}{Z_{cs}} \right)^2 + \left( \frac{K_{cu}(Zn)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Zn)}{Z_{cs}} \right)^2 + \left( \frac{K_{cu}(Cu)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Cu)}{Z_{cs}} \right)^2 + \\ + \left( \frac{K_{cu}(Ni)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Ni)}{Z_{cs}} \right)^2 + \left( \frac{K_{cu}(Co)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Co)}{Z_{cs}} \right)^2 + \left( \frac{K_{cu}(Mn)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Mn)}{Z_{cs}} \right)^2 + \\ + \left( \frac{K_{cu}(Cr)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Cr)}{Z_{cs}} \right)^2 + \left( \frac{K_{cu}(Ti)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(Ti)}{Z_{cs}} \right)^2 = \sum_i \left( \frac{K_{cu}(A_i)}{Z_{cu}} - \frac{K_{cs}(A_i)}{Z_{cs}} \right)^2.$$

Данная формула автором была построена из следующих соображений: однородными (одного происхождения) образцами будут считаться образцы  $u$  и  $s$ , если для того и другого достаточно близки поэлементные вклады в общую загрязненность. Например, вклад свинцового загрязнения в общее для  $u$ -го образца –

$$\frac{K_{c_u}(Pb)}{Z_{c_u}}, \text{ то же самое для } s\text{-го образца} - \frac{K_{c_s}(Pb)}{Z_{c_s}} \text{ и так для каждого элемен-}$$

та; причем однородными будут образцы  $u$  и  $s$  даже в том случае, когда  $K_{c_u}(A) \gg K_{c_s}(A)$ , важно чтобы вклады были близки по значению, а для этого необходимо, чтобы и  $Z_{c_u} \gg Z_{c_s}$  (такая ситуация возникает, когда  $u$ -й образец находится близко к

источнику, а  $s$ -й – далеко). Таким образом, выражение  $\frac{K_{c_u}(Pb)}{Z_{c_u}} - \frac{K_{c_s}(Pb)}{Z_{c_s}}$

означает разность вкладов свинцового загрязнения в общее для  $u$ -го и  $s$ -го образцов (для однородных образцов значение этого выражения близко к нулю). Поэлементные разности возводятся в квадрат для того, чтобы разноименные по знаку члены суммы не сокращались взаимно. Таким образом,  $d_{us}^2$  – это “квадрат расстояния” (или просто “расстояние”, так как это не влияет на дальнейшие результаты) между точками (образцами)  $u$  и  $s$  в “пространстве” концентраций, другими словами  $d_{us}^2$  – это квадрат модуля вектора в “пространстве” концентраций, началом которого является точка  $s$ , а концом – точка  $u$ . В этом “пространстве” компонентами радиус-вектора точки  $u$  являются поэлементные вклады:

$$\vec{u} = \left( \frac{K_{c_u}(Pb)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Zn)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Cu)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Ni)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Co)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Mn)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Cr)}{Z_{c_u}}, \frac{K_{c_u}(Ti)}{Z_{c_u}} \right)$$

Практически задача выделения однородного кластера решается в восьмимерном “пространстве” концентраций (по осям откладываются значения поэлементных вкладов). Для лучшего понимания физического (геометрического) смысла оцениваемых показателей на рис. 4.2 представлен упрощенный случай двумерного пространства концентраций (два элемента А и В).

Определив функцию расстояния  $d_{us}$ , можно приступить к выделению однородных кластеров из общего множества образцов. Первоначально множество всех имеющихся образцов разбивается на подмножества образцов, удовлетворяющих следующим условиям: расстояние  $r$  от источника загрязнения до точки отбора пробы меньше определенного значения и значение суммарного показателя загрязнения лежит в определенном интервале; расстояние и значение  $Z_c$  взаимосвязаны: чем больше расстояние, тем меньше  $Z_c$ , так как с удалением от источника обусловленная им концентрация выбрасываемых веществ уменьшается. Итак, в первичное подмножество попадают образцы, для которых  $Z_c \geq 32$  и  $R < 3000$  м (подмножество с опасным уровнем загрязнения); во вторичное подмножество – образцы, для которых  $16 \leq Z_c < 32$  и  $R < 5000$  м (подмножество с умеренно опасным уровнем загряз-

нения); в третичное подмножество – образцы, для которых  $8 \leq Z_c < 16$  и  $R < 7000$  м (подмножество с повышенным уровнем загрязнения); наконец, в четвертичное подмножество – образцы, для которых  $1 \leq Z_c < 8$  и  $R < 9000$  м (подмножество с допустимым уровнем загрязнения). Далее формируется кластер (из подмножества с опасным уровнем загрязнения) однородных образцов, так как в первичное подмножество могли попасть образцы, не характерные для данного источника.

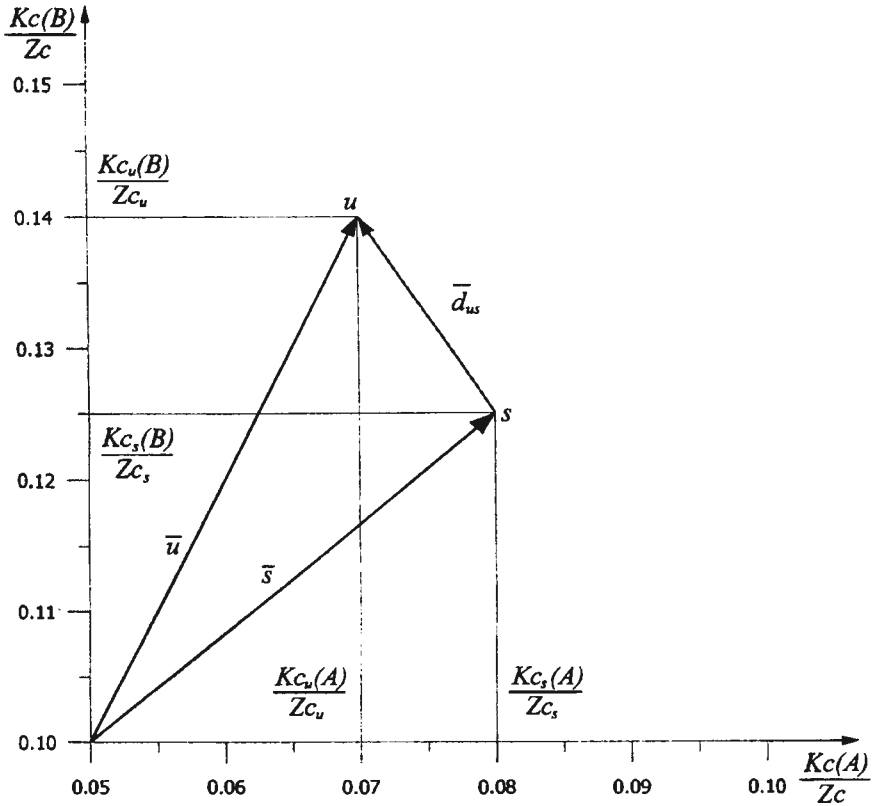


Рис. 4.2. Пояснение к вычислению расстояния между точками  $u$  и  $s$  в “пространстве” концентраций (двухэлементный случай).

Автором предложена следующая модель создания кластеров. Из первичного подмножества формируется кластер однородных по комплексу признаков образцов. Однородным с другими считается образец  $u$ , для которого значение  $\ln(D_u)$  меньше величины  $K$  – предельно допустимой степени принадлежности точек к кластеру (определяется ниже).  $D_u$  – мера принадлежности или суммарное

“концентрационное расстояние” от  $u$ -го образца до всех других членов кластера в пространстве концентраций (здесь расстояние измеряется не в метрах, а в относительных единицах концентрации), определяемое формулой

$$D_u = \sum_{s=1}^n d_{us}^2.$$

Рассмотрим распределение случайной величины  $D$  (на примере предприятий центральной промышленной зоны г. Ижевска). В данном случае в первичное подмножество попало 77 образцов.

На рис. 4.3 представлена плотность распределения величины  $D$ .

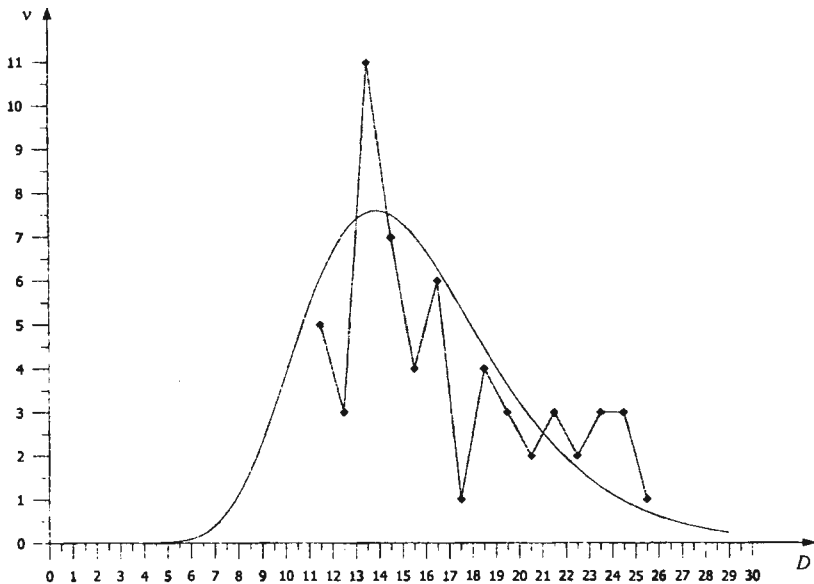


Рис. 4.3. Кривая и теоретическая (модельная) плотность, характеризующие распределение меры принадлежности (величина  $D$ ).

Как видно из рис. 4.3 величина  $D$  распределена по логнормальному закону с

модельной плотностью  $f(D) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma D} e^{-\frac{(\ln D - \ln a)^2}{2\sigma^2}}$  (с параметрами  $\sigma = 0,3$

и медианой  $a = 15$ ), что подтверждается расчетом критерия  $\chi^2$  Пирсона.

При проведении статистической обработки данных очень удобно работать с нормально распределенными случайными величинами (простой вид функции плотности распределения, точечные оценки генеральных параметров  $\mu$  и  $\sigma^2$  —  $a$  и  $s^2$  состоятельны, не смещены и эффективны), поэтому преобразуем значения  $D$  в  $D' = \ln(D)$ .

Вычислим среднее  $D'_{\text{сред}}$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma_{D'}$ :

$$D'_{\text{сред}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D'_i, \quad \sigma_{D'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (D'_i - D'_{\text{сред}})^2}{n-1}}.$$

Величина  $K$  определяется следующим образом:

$$K = D'_{\text{сред}} + \sigma_{D'}.$$

Точки, для которых выполняется условие  $\ln(D_u) < K$ , образуют кластер. Эти точки в пространстве образуют некоторую односвязную область. Граница этой области определяется следующим образом: территория первичного подмножества (круг с источником загрязнения в центре и радиусом 3000 м) разбивается на 16 (можно и больше) равных секторов; из всех точек (удовлетворяющих условию однородности), принадлежащих определенному сектору находится наиболее удаленная от источника (пограничная); через эти пограничные точки из различных секторов проводится замкнутая кривая, которая и является границей области однородного загрязнения опасного уровня, приуроченной к промышленному предприятию.

Автором создана программа в среде MapBasic (MapInfo), в которой реализован алгоритм формирования области однородного загрязнения. Программа позволяет создавать “слой”, в котором хранится информация о распределении концентраций. Этот слой накладывается на оцифрованную топооснову и распечатывается, в результате чего получается практически готовая геохимическая карта (рис. 4.4). Автоматизация процесса позволяет многократно ускорить работу по созданию карт, а, значит, сэкономить время и средства. Повышение производительности картосоставительских работ позволяет перейти от одновариантных решений к многовариантным (варьируя показатели природного фона, окна осреднения и др.). Данная программа может быть применена к любому источнику загрязнения.

Рис. 4.4. АРЕАЛЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ,  
ПРИУРОЧЕННЫЕ К ПРЕДПРИЯТИЯМ:



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение концентраций тяжелых металлов в почвогрунтах значительно варьирует как в пространстве, так и во времени. Но ряд закономерностей, выявленных при исследовании, позволяет сделать следующие выводы.

1. Размеры и формы геохимических аномалий, приуроченных к предприятиям, определяются масштабами предприятий и, соответственно, масштабами выбросов, а также ветровым режимом, включая его трансформации в приземном слое под воздействием рельефа и застройки.

С помощью корреляционного анализа может быть выявлено как достоверное наличие, так и недостаточно достоверное, или достоверное отсутствие связи между загрязнением и расстояниями до предполагаемого источника. Такие связи наиболее четко выявляются для Центральной промышленной зоны Ижевска и для отдельно расположенного среди жилых массивов предприятия приборостроительного профиля (ИЭМЗ).

В рассмотренном случае центральной промышленной зоны область наибольшего воздействия при радиусе до 2,2 км охватывает значительную часть территории городской застройки, преимущественно, северо-восточного, восточного и юго-восточного секторов. Полный размер зоны влияния выявляется по равенству значения критерия (Стьюдента) достоверности оценки коэффициента корреляции критической точке  $t$ -распределения для выборки, включающей пробы, отобранные в пределах трансекта с началом в центре промзоны, определенной ширины и длины. В случае центральной промышленной зоны эта длина (соответственно и размер зоны влияния) достигает 12 - 15 км, что покрывает практически не только застроенную часть, но и всю территорию города в пределах административных границ.

Территории воздействия остальных предприятий накладываются на территорию воздействия центральной промышленной зоны. Следствием этого в большинстве случаев является выявляющаяся по приведенным в таблице показателям асимметрия зон влияния. В тех случаях, когда увеличение расстояния от источника загрязнения одновременно означает увеличение расстояния от центральной промышленной зоны, связи выражаются четче и по большему числу элементов, чем в противоположной ситуации удаления от источника загрязнения и приближения к центральной промышленной зоне. В меньшей степени подобное явление может быть отмечено на периферии северо-восточной промышленной зоны.

2. Расчеты, выполненные на основе изложенной методики, показали, что выявляемые таким образом зоны влияния предприятий могут значительно отклоняться от нормативных СЗЗ как в большую, так и в меньшую сторону.

Исследование показало, что статистически достоверные зоны влияния выявляются только вокруг крупных предприятий и промышленных зон. При сгущении сети опробования и соответствующем увеличении объемов выборок возможно выявление зон влияния и вокруг более мелких источников.

3. Высокая техногенная нагрузка на почвогрунты в условиях города обуславливает значительное изменение показателей загрязнения за период порядка нескольких лет. Аэрогенное загрязнение тем или иным металлом формируется



тем быстрее, чем ниже его фоновое содержание и выше техногенная эмиссия. Зависимость между продолжительностью экспозиции и уровнями загрязнения носит достаточно сложный, нелинейный характер, обусловленный неравномерностью загрязнения в разные периоды времени.

4. Использование электронной базы аналитических данных и современных программных средств позволяет автоматизировать процесс составления эколого-геохимических карт. Так с помощью программных средств MS Excel, ArcView (с приложениями) и MapInfo (с приложениями) были созданы в автоматическом режиме поэлементные карты и карта  $Z_c$ , а также карта-схема г. Ижевска с ареалами однородного загрязнения (выявленными с помощью кластерного анализа), приуроченными к наиболее мощным источникам (рис. 4.8). Автоматизация процесса позволяет многократно ускорить работу по созданию карт. Повышение производительности картосоставительских работ позволяет перейти от одновариантных решений к многовариантным (варьируя показатели природного фона, окна осреднения и др.).

Материалы эколого-геохимического изучения города используются при разработке нового генерального плана, при кадастровой оценке земель. Намечаемые пути решения отмеченных проблем связаны, главным образом, с разгрузкой наиболее неблагополучных районов от автомобильного транспорта путем создания альтернативных магистралей, выносом объектов, формирующих транспортные потоки, на окраины города, а с также дифференциацией ставок платежей и местных налогов.

#### **Основные работы, опубликованные по теме диссертации**

1. Сопряженное изучение загрязнения тяжелыми металлами почв и грунтов г. Ижевска рентгеноспектральным и магнитометрическим методами анализа // Региональная научно-практ. конф. "Удмуртия накануне третьего тысячелетия", Ч. 2. Ижевск, 1998. с. 26-28. (соавтор Страдина О.А.).
2. Рельеф и ландшафты города как реципиенты аэрогенного загрязнения почв // Региональная научно-технич. конф. "Экология города", Пермь, 1998. с. 171-174. (соавторы Стурман В.И., Мыльникова Ю.А.).
3. Пространственно-временные особенности аэрогенного загрязнения почв г. Ижевска // Четвертая Российская университетско-академическая научно-практ. конф. Ч. 2. Ижевск, 1999. с. 156-157. (соавторы Стурман В.И., Мыльникова Ю.А.).
4. Некоторые особенности аэрогенного загрязнения почв крупного промышленного города // Всерос. научно-практ. конф. "Экологические и метеорологические проблемы больших городов и промышленных зон", СПб, 1999. с. 79-81. (соавторы Стурман В.И., Бушкова Ю.С.).
5. Аэрогенное загрязнение почв крупного промышленного города и проблемы охраны малых рек // "Процессы и экологическая обстановка в бассейнах малых

- рек". Ижевск: Издательский дом "Удмуртский университет", 2000. с. 95-102. (соавторы Стурман В.И., Бушкова Ю.С.).
6. Количественное исследование связей между загрязненностью воздуха и почв и расстояниями от источников // Всерос. научно-практ. конф. "Климат, мониторинг окружающей среды, гидрометеорологическое прогнозирование и обслуживание", Казань: Унипресс, 2000. с. 160-162. (соавторы Стурман В.И., Буторина М.В.).
  7. Аэрогенное и вейстогенное загрязнение почв крупного промышленного города // "Проблемы региональной экологии", № 2, 2000. с. 39-44. (соавторы Стурман В.И., Бушкова Ю.С.).
  8. Исследование загрязнения почв крупного промышленного города // Всерос. науч. конф. "Университеты России – фундаментальные исследования: География", М. - Новороссийск, 2000. с.90-91. (соавтор Стурман В.И.).
  9. Индикация экологической обстановки // "Охрана труда и социальное страхование", № 8, 2000. с. 61-64. (соавторы Стурман В.И., Малькова И.Л.).
  10. Использование кластерного анализа для выявления зон влияния предприятий крупного промышленного города // Межрегиональная научно-практ. конф. "Актуальные географические проблемы городов", Чебоксары, 2000.
  11. Количественное исследование территориальных аспектов загрязнения почв крупного промышленного города // Международная научная конференция "Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон" СПб., 2000. с. 83-84. (соавтор Стурман В.И.).
  12. Тяжелые металлы в поверхностном слое почв Ижевска // Вестник Удмуртского университета, 2000, № 3. (соавторы Стурман В.И., Бушкова Ю.С.).

Подписано в печать 18.05.2001.  
Заказ № 1166. Тираж 100 экз.

Типография Удмуртского государственного университета.  
426034, Ижевск, ул. Университетская, 1, корп. 4.

